



TITLE:

Ferromagnetic critical behavior and critical universality in itinerant-electron metamagnet UCoAl(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Karube, Kosuke

CITATION:

Karube, Kosuke. Ferromagnetic critical behavior and critical universality in itinerant-electron metamagnet UCoAl. 京都大学, 2015, 博士(理学)

ISSUE DATE:

2015-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k18777>

RIGHT:

学位規則第9条第2項により要約公開; 許諾条件により本文は2016-03-31に公開

京都大学	博 士 (理 学)	氏名	軽部 皓介
論文題目	Ferromagnetic critical behavior and critical universality in itinerant-electron metamagnet UCoAl (遍歴電子系メタ磁性体 UCoAl における強磁性臨界現象と臨界普遍性)		
(論文内容の要旨)			
<p>本博士論文では、ウラン系メタ磁性体UCoAlを例に取り、遍歴電子系強磁性体に対し理論研究から提唱されている温度－磁場－圧力の普遍的な「三次元相図」が成り立つのか、またその相図の特徴的な点である二次転移から一次転移に変化する「三重臨界点」や一次転移がクロスオーバーに変わる「臨界終点」における磁気ゆらぎの性質を微視的に調べ、遍歴強磁性体の磁気臨界点近傍の普遍性について研究した論文である。メタ磁性とは磁場印加に対し磁化が不連続に増大する振舞いであり、磁場誘起強磁性転移と見なすことも出来る。メタ磁性転移は低温では一次転移であるが、臨界終点を経てクロスオーバーに変わる。今回のUCoAlはc軸を磁化容易軸に持ちIsing的な異方性を持ち、0.6テスラのc軸磁場でメタ磁性転移を示す。またわずかな一軸圧で強磁性が誘起されことからUCoAlは強磁性臨界点近傍に位置する物質であり、今回の目的には最適な物質である。</p> <p>本論文では、①常圧下のメタ磁性臨界終点における臨界現象と普遍性、②一軸圧下およびFe置換系における三重臨界点の探索とそこでの臨界現象について報告した。</p> <p>①では、各結晶軸方向の核磁気共鳴(NMR)測定から、磁化($M_c \gg M_a$)と磁気ゆらぎ($S_c \gg S_a$)が共にc軸方向にイジング的な異方性を持ち、S_cの温度依存性には$T_{\max} \sim 20$ Kに遍歴電子系メタ磁性体特有の状態密度を反映するブロードなピーク構造が存在することを確認した。更に、M_c、S_cはab面内の磁場成分に依らないことを確かめ、磁場をac面内で角度回転させることで$H_{\parallel c}$を制御しながらNMR測定を行った。</p> <p>秩序変数であるM_cの振る舞いから、メタ磁性転移の臨界終点が($T, \mu_0 H_{\parallel c}$) \sim (12 K, 1.0 T)に存在すること、また、秩序変数のゆらぎであるS_cが臨界終点で発散的に増大することを明らかにした。また、臨界終点近傍での臨界指数の見積りから、UCoAlのメタ磁性臨界現象は、気体-液体転移や三次元モット転移の臨界現象と同様の、三次元イジングユニバーサリティクラスで理解できることも示した。</p> <p>②では、一軸圧下でのNMR測定により、一軸圧の方向によって強磁性への変化が逆であることを示した。$P_{\parallel b}$はメタ磁性転移磁場を上昇させ、強磁性状態から遠ざけるのに対し、$P_{\parallel c}$は$H_{\parallel c} = 0$でも強磁性状態を誘起することを示した。また、S_cの$T_{\max} \sim 20$ Kにおけるピーク強度が、$P_{\parallel b}$により抑えられるのに対し、$P_{\parallel c}$により増強され($T, P_{\parallel c}$) \sim (20 K, 0.16 GPa)付近で最大値を持つことを示した。次に、Fe置換系U(Co_{1-x}Fe_x)Alについてゼロ磁場下でNQR測定を行った結果、$x = 1\%$以上で誘起される強磁性転移が相分離を伴う一次転移であることを示した。更に、(T, x) 相図上で T_{\max} の線と一次の強磁性転移線を外挿すると、(T, x) \sim (20 K, 2.5%)で集結し、T_{\max}におけるS_cの強度が増大していくことを見出した。これらのc軸方向の一軸圧とFe置換効果による振る舞いは、理論予測と合致しており、T_{\max}と一次の強磁性転移線の集結点に三重臨界点が存在し、そこで磁気ゆらぎが強く発達していることを示唆した。</p> <p>このように、軽部氏はUCoAlにおいて理論的に提唱されている遍歴電子系強磁性体に普遍的な三次元相図（特に、臨界終点と三重臨界点）が存在することを実験的に確認し、磁気ゆらぎは臨界終点および三重臨界点近傍で発散的に増大することを明らかにした。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

1. 研究目的の評価

軽部氏は、強磁性状態の近傍に位置するウラン系遍歴磁性体 UCoAl に着目し、理論研究から提唱されている温度-磁場-圧力の三次元相図が UCoAl に成り立つかどうか、また相図において特徴的な三重臨界点や臨界終点における磁気ゆらぎの性質を微視的測定である核磁気共鳴実験(NMR)を用いて調べた。反強磁性量子臨界点およびその近傍における物性研究は今まで多くなされてきたが、強磁性臨界点に関する研究はほとんど報告例がなく研究の意義は認められる。

2. 研究手段に関する評価

今回用いられた実験手法である核磁気共鳴(NMR)/核四重極共鳴(NQR)は物質の電子、磁気状態を原子レベルで知ることが出来る微視的な実験手法であり、低エネルギー磁気励起を知るには適した手法である。特に転移点で相分離を示す一次転移か連続的に変化する二次転移かを判別するには大変有用な測定手段である。また軽部氏は UCoAl の持つイジング異方性や、磁化や緩和率 $1/T_1$ が面内の磁場に対し変化しないことに着目し、磁場中で単結晶試料を ac 面内で回転させることにより、 c 軸印加磁場を連続的に制御し、オーダーパラメーターとそのゆらぎに相当するKnight-shiftと $1/T_1$ の精密な測定を行った。実際の実験で重要となる角度制御であるが、各磁場方向に対してNMRスペクトルを計算し、それとの比較より磁場が結晶のどの方向に印加されているのかを正確に把握した。この手法を用いることで、Knight-shiftと $1/T_1$ の c 軸印加磁場依存性を求めており、NMRの測定の特徴を活かした測定を行っており高く評価される。

3. 結果、考察の評価

軽部氏は、 UCoAl においてメタ磁性臨界終点が存在し、そこでは秩序変数のゆらぎである c 軸方向の磁気ゆらぎが発散的に増大することを明らかにした。また臨界終点近傍での臨界指数の見積りより、 UCoAl のメタ磁性臨界現象は気体-液体転移と同じ三次元イジングユニバーサリティクラスで理解できることを示した。メタ磁性転移は、チューニング変数である磁場を圧力に、秩序変数である磁化を密度に変えると気体-液体転移との類似性が指摘されるが、転移の臨界指数が同じ普遍性を持つことを示したことは大変意義深い。また一軸圧やFeを置換することによって三重臨界点の探索を行い、磁化が最大値をとる T_{max} と一次の強磁性転移線が、一軸圧やFe置換により集結する点に三重臨界点が存在し、そこで磁気ゆらぎが強く発達していることを示唆した。これらの結果から UCoAl において理論的に提唱されている遍歴電子系強磁性体に普遍的な三次元相図(特に、臨界終点と三重臨界点)が成り立つことを実験的に確認したことは、強磁性臨界現象を理解する上でも重要な結果であると判断する。

軽部氏は実験遂行能力の高さだけでなく、実験データの解析、そこから導き出される物理イメージなど議論できる実験科学者として優れた能力を有していると判断した。

よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成27年1月13日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降